ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: GÓRNICTWO z. 112 Nr kol. 697

Ryszard FRĄCZEK

PROCES NAWILŻANIA POWIETRZA W WYROBISKACH GÓRNICZYCH W ŚWIETLE ROZWAŻAŃ TEORETYCZNYCH I OBSERWACJI W KOPALNIACH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki dalszych badań nad procesem nawilżania powietrza w wyrobiskach górniczych, które przedstawiono w pracy [2]. Dotychczasowy model ruchu wilgoci w wyrobisku górniczym poszerzono o wpływ ciśnienia eksploatacyjnego przy założeniu liniowego i nieliniowego przyrostu wilgoci wzdłuż osi wyrobiska. Podano także ilościowy udział pary wodnej pochodzącej ze źródeł wewnątrz i zewnątrz (z górotworu) wyrobiska. W zakończeniu podano najważniejsze wnioski.

1. Wprowadzenie

Przy prognozowaniu temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych na dokładność wyników znaczny wpływ wywiera zmiana stanu skupienia wody oraz jej ruch w górotworze. Zagadnieniu zmiany stanu skupienia wilgoci na temperaturę powietrza poświęcono wiele prac [4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13], jednakże do tej pory problem ten nie został zadowalająco rozwiązany. Praca niniejsza stanowi kontynuację badań dotyczących nawilżania powietrza kopalnianego, a przedstawionych w pracy autora [2]. Inspiracją przedstawionych badań była weryfikacja uzyskanych empirycznych zależności służących do obliczania:

- przyrostu wilgotności względnej $\Delta\varphi$ i wilgotności właściwej Δx przypadającej na 100 m długości wyrobiska,
- współczynnika wymiany wilgoci β,

stosowanych przy prognozowaniu temperatury powietrza w kopalniach: Pstrowski i K-2 w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Okazało się, że wyprowadzone zależności w pracy [2] dają poprawne rezultaty w niedużej grupie wyrobisk o niewielkiej długości. Celem podniesienia dokładności obliczeń prognostycznych temperatury powietrza i wilgotności wykonano niniejszą pracę, w której podjęto próbę ilościowego ujęcia źródeł wilgoci w zależności od przeznaczenia wyrobiska, przy założeniu liniowego i nieliniowego modelu przyrostu wilgoci wzdłuż osi wyrobiska.

2. Charakterystyka procesu parowania wody w wyrobisku górniczym

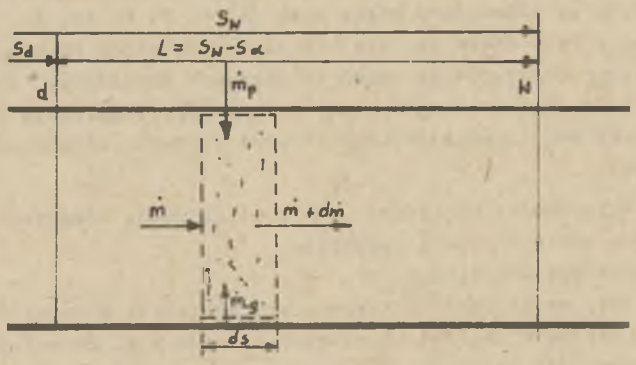
Proces parowania wody powodujący zawilgocenie powietrza płynącego w wyrobisku górniczym może zachodzić:

- w powietrzu (parowanie wody rozpylonej przez urządzenia zraszające lub parowanie wody opadającej z wyposażenia i obudowy wyrobiska),
- ze swobodnej powierzchni lustra wody,
- wewnątrz górotworu.

Na intensywność wymiany wilgoci między przepływającym powietrzem a otaczającym górotworem a także między wodą znajdującą się na powierzchni wyrobiska oraz wodą rozpylona w powietrzu będą miały wpływ:

- kierunek oraz forma ruchu ciepła (wymiana ciepła na drodze konwekcji, promieniowania czy przewodzenia - zgodnie lub niezgodnie z kierunkiem ruchu wilgoci),
- mechanizm ruchu wilgoci wewnątrz górotworu i z jego powierzchni do powietrza.

Chcąc wyprowadzić wzory na gęstość strumienia wilgoci rozważa się obszar przestrzenny, jaki stanowi wycinek wyrobiska o brzegu zaznaczonym linią kreskową na rys. 1. Do tego elementu wyrobiska dopływają: strumień wilgoci parującej na powierzchni wyrobiska $\dot{m}_{pz}$ oraz strumień wilgoci powstały w wyniku parowania wody i desorbcji pary wodnej zawartej w otaczającym wyrobisko górotworze $\dot{m}_g$.



Rys. 1. Model ruchu wilgoci w wyrobisku górniczym

Bilans wilgoci ułożony dla wymienionego elementu wyrobiska górniczego wyrazi równanie:

$$(\dot{m}_{pz} + \dot{m}_{gz})Bds = d\dot{m} \tag{1}$$

gdzie:

m_{pz} - gęstość strumienia, kg/m^2s,
B - obwód wyrobiska, m,
s - współrzędna bieżąca, m.

Przy założeniu modelu liniowego, dyfuzję pary wodnej od powierzchni pokrytej wodę do otaczającego powietrza, stanowiącą przypadek jednostronnie przepuszczalnej powierzchni granicznej, opisuje prawo dyfuzji Stefana 4,7:

$$\dot{m}_p = \frac{A\beta}{R_w T}(p - p_n) \tag{2}$$

gdzie:

β - współczynnik przejmowania masy, m/s,
R_w - stała gazowa pary wodnej, J/kg K,
T - temperatura powietrza, K,
$p-p_n$ - różnica ciśnień pary wodnej w warstwie granicznej, Pa.

Przy założeniu, że wielkości, T, p, p_n są stałe, po scałkowaniu równania (1) względem współrzędnej bieżącej s od przekroju dopływowego (d) o współrzędnej s_d do przekroju wypływowego (w) o współrzędnej s_w uzyskamy następującą zależność dla przekroju wyrobiska górniczego:

$$m_w - m_d = (m_{pz} + m_{gz})BL \tag{3}$$

gdzie:

$L = (s_w - s_d)$ - długość wyrobiska górniczego, m,
$\dot{m}_d$, $\dot{m}_w$ - strumienie masy powietrza kopalnianego odpowiednio na wlocie i wylocie z wyrobiska (d,w), kg/s.

Przyjmując założenie, że strumień wilgoci parującej oraz desorbowanej wewnątrz górotworu możemy w przybliżeniu opisać wzorem (2), w którym współczynnik przejmowania masy β_z będzie współczynnikiem zastępczym ujmującym ruch wilgoci wewnątrz górotworu oraz z górotworu do powietrza, wzór (3) przyjmie postać:

$$\Delta\dot{m} = \frac{A}{R_w T}(p - p_n)(\beta + \beta_z) \tag{4}$$

gdzie:

A - powierzchnia wyrobiska, m^2,
Δm - przyrost wilgoci, kg/s.

W procesach suszenia materiałów oraz w zagadnieniu związanych z wymianą masy [4, 7, 11] do obliczenia współczynnika przejmowania masy β stosuje się zależność:

$$Sh_1 = c_1 Re^a Gu^b \tag{5}$$

gdzie:

$Sh_1 = \frac{\beta d}{D}$ - liczba Sherwooda (w pracy [2] stosowano nomenklaturę Nu używaną przez Łykowa),

$Re = \frac{wd}{\vartheta}$ - liczba Reynoldsa,

$Gu = \frac{t_s - t_w}{t_s + 274}$ - liczba Guchmana,

d - średnica zastępcza wyrobiska, m,

D - współczynnik dyfuzji, m^2/s,

w - prędkość powietrza, m/s,

ϑ - kinematyczny współczynnik lepkości, m^2/s,

t_s - temperatura powietrza mierzona termometrem suchym, ^oC,

t_w - temperatura powietrza mierzona termometrem wilgotnym, ^oC.

Wartość stałej c_1 oraz wykładników a i b wyznacza się empirycznie w zależności od potrzeb [4, 7, 11]. Stosowanie wartości c, a i b uzyskanych w różnych dziedzinach techniki do potrzeb górnictwa daje poprawne rezultaty jedynie wtedy, jeżeli zachowane są kryteria podobieństwa określone przez graniczne wartości liczb Re oraz Gu. Mając poprawnie wyznaczone wartości stałych a, b, c_1 nie oznacza, że uzyskamy poprawny wynik stosując zależność (4), gdyż o tym decydują jeszcze powierzchnia parowania oraz strumień wilgoci płynący bezpośrednio z górotworu.

Z tego względu istnieje potrzeba przeprowadzenia badań empirycznych celem wyznaczenia:

- powierzchni parowania wody,
- współczynników przejmowania masy.

Ponieważ mamy jedno równanie (4) oraz trzy niewiadome (A, β, β_z), do dalszej analizy przyjęto uproszczenie polegające na tym, że stała c w zależności (5) uwzględnia procentowy udział powierzchni pokrytej wodą do powierzchni całkowitej (c_1). W ten sposób ilość niewiadomych zmniejsza się do dwóch (β_1, β_z).

Określenie współczynnika przejmowania masy β_z w górotworze wokół wyrobiska jest zagadnieniem znacznie trudniejszym. Z literatury [2, 3, 5, 6, 7, 12, 13] wiadomo, że znaczny wpływ na ruch pary wodnej w górotworze ma:

- suma poprzecznych przekrojów por i szczelin,
- napór ciśnienia czynnego,
- temperatura środowiska,
- zawartość wody,
- czas.

Ponadto z poczynionych obserwacji wynika, że wpływ na ilość desorbowanej pary z górotworu ma także:

- wielkość ciśnienia statycznego w górotworze,

- wytrzymałość mechaniczna skał na ściskanie,
- czas od momentu wykonania wyrobiska.

Stosując analizę wymiarową, warunki tworzenia się oraz ruch pary wodnej w górotworze można opisać następującymi liczbami bezwymiarowymi:

$F_o = \frac{\tau r}{r^2}$ - liczba Fouriera charakteryzująca ruch pary wodnej w czasie,

$W = \frac{\varrho_w}{\varrho_g}$ - liczba charakteryzująca wilgotność górotworu,

$R = \frac{\varrho_g z g}{\sigma_g}$ - liczba charakteryzująca własności mechaniczne górotworu,

$K = \frac{t_s - \vartheta_s}{t_s + 273}$ - liczba charakteryzująca ruch ciepła w górotworze,

gdzie:

τ - okres istnienia wyrobiska, s,
r - promień zastępczy wyrobiska, m,
ϱ_w - gęstość przestrzenna wody zawartej w górotworze, kg/m^3,
ϱ_g - gęstość przestrzenna górotworu, kg/m^3,
z - średnia głębokość położenia wyrobiska względem powierzchni, m,
σ_g - współczynnik wytrzymałości mechanicznej skał na ściskanie, Pa,
ϑ_s - temperatura pierwotna górotworu, ^oC.

Podane liczby bezwymiarowe w pełni nie charakteryzują zachodzącego procesu, parowania, desorbcji i ruchu pary wodnej w górotworze, lecz ze względu na stosunkowo prostą możliwość ich wyznaczenia mogą znaleźć zastosowanie przy wyznaczeniu liczby Sh_z dotyczącej tworzenia i ruchu pary wodnej w górotworze w postaci:

$$Sh_z = c_2 F_o^d W^e R^f K^g \tag{6}$$

Podstawiając zależności (5) i (6) do wzoru (4) uzyskamy wzór na obliczenie strumienia wilgoci w wyrobiskach górniczych w postaci

$$\Delta \dot{m} = \frac{A.D}{R_w T d}(p - p_n)(Sh_1 + Sh_z) \tag{7}$$

Przyrost wilgotności właściwej w badanym odcinku wyrobiska uzyskamy, jeżeli podzielimy zależność (7) przez strumień masy powietrza suchego ($\dot{m}_s$) płynącego w wyrobisku:

$$\Delta x = \frac{AD}{R_w T d \dot{m}_s}(p - p_n)(Sh_1 + Sh_z) \tag{8}$$

Mając wilgotność właściwą x_1, x_2 oraz ciśnienie bezwzględne powietrza, korzystając ze znanych wzorów [8, 9] można obliczyć przyrost wilgotności względnej $\Delta\varphi$.

Podane zależności (7) i (8) mogą służyć do obliczenia przyrostu wilgotności powietrza przy założeniu liniowej zmiany wilgotności wzdłuż osi wyrobiska.

W celu wyprowadzenia wzoru na nieliniowy przyrost wilgoci w powietrzu płynącym w wyrobisku górniczym, pokazanym na rys. 1, układamy bilans wilgoci dla elementu długości wyrobiska

$$dm = m_s dx = (\dot{m}_p + \dot{m}_g)Bds = (x - x_s)(k_1 + k_2)Bds \tag{9}$$

gdzie:

dx - przyrost wilgotności właściwej powietrza w wyrobisku, kg/kg,

x - wilgotność właściwa powietrza, kg/kg,

x_s - wilgotność właściwa powietrza przy powierzchni wody, kg/kg,

k_1 - zastępczy współczynnik wnikania wilgoci z powierzchni wyrobiska odnoszący się do siły napędowej będącej różnicą wilgotności właściwej, kg/m^{2}s,

k_2 - współczynnik wnikania wilgoci z górotworu, kg/m^{2}s.

Po uporządkowaniu zmiennych i scałkowaniu zależność (9) przyjmuje postać:

$$\frac{x_d - x_s}{x_w - x_s} = \exp \frac{A}{m_s}(k_1 + k_2) \tag{10}$$

Wprowadzając:

$$Sh_1 = \frac{k_1 d}{\sigma_d}, \quad Sh_2 = \frac{k_2 d}{\sigma_d}, \quad \frac{x_d - x_s}{x_w - x_s} = X_b$$

do wzoru (10) uzyskamy

$$X_b = \exp \frac{A\sigma_d}{m_s d}(Sh_1 + Sh_2) \tag{11}$$

gdzie:

σ_d - dynamiczny współczynnik dyfuzji pary wodnej, kg/ms.

Liczby Sherwooda Sh_1, Sh_2, podobnie jak w modelu liniowym, opiszą zależności (5) i (6), przy czym określeniu podlegają stałe c_1, c_2 oraz wykładniki a, b, d, e, f, g.

Wzór na obliczenie przyrostu wilgoci w wyrobisku górniczym, stosując siłę napędową ruchu wilgoci w postaci różnicy ciśnień pary zamiast różnicy wilgotności właściwej, będzie miał postać:

$$\frac{p_d - p_s}{p_w - p_s} = \exp \frac{A \cdot D}{\dot{V}_s d}(Sh_1 + Sh_2) \qquad (12)$$

gdzie:

p_d, p_w - ciśnienie pary wodnej w powietrzu na wlocie i wylocie z wyrobiska, Pa,

$\dot{V}_s$ - strumień objętości powietrza suchego, m^3/s.

Użyteczność podanych wzorów (8, 11, 12) do obliczeń przyrostu wilgotności w wyrobisku górniczym uzyska się dopiero po opracowaniu danych uzyskanych z pomiaru.

3. Przygotowanie danych wejściowych do obliczeń

Określenie stałych c_1, c_2 oraz wykładników potęgowych a, b, d, e, f, g wymaga przygotowania wartości liczb bezwymiarowych: R_e, G_u, F_o, K, W, X_b, Sh_w. W tym celu wykonano w wyrobiskach górniczych pomiary dotyczące:

- temperatury suchej i wilgotnej powietrza,
- prędkości i ciśnienia powietrza,
- przekroju i długości wyrobisk,

stosując odpowiednie metody i przyrządy pomiarowe podane w pracach [2, 8, 9].

Na podstawie map pokładowych wyznaczono okres istnienia wyrobiska oraz głębokość zalegania badanego elementu wyrobiska. Na podstawie danych z działu geologicznego poszczególnych kopalń ustalono temperaturę skał oraz rodzaj skał zalegających w stropie.

Gęstość skał oraz współczynnik wytrzymałości skał na ściskanie uzyskano z pracy Chmury [1].

Przy obliczaniu liczby R stosowano średnioważoną gęstość skał leżących nad danym wyrobiskiem.

W wyrobiskach węglowych stosowano współczynnik wytrzymałości węgla na ściskanie, natomiast w wyrobiskach wykonanych w kamieniu określano średnią wartość współczynnika σ_g dla danych warstw stratygraficznych, w których wykonane jest wyrobisko. Przy określaniu wilgotności górotworu wykorzystano dane z działów geologicznych, a w przypadku ich braku korzystając z pracy autora [3].

Celem określenia ciśnienia pary wodnej w temperaturze ścianki określono jej temperaturę wychodząc z zależności [11, 13, 14]:

$$\alpha(t - t_s) = (\vartheta - t)k_\tau \cdot c \qquad (13)$$

gdzie:

α - współczynnik przejmowania ciepła, W/m^2K,

c - współczynnik określający procentowy udział ciepła powodujący przyrost temperatury suchej powietrza,

k_τ - współczynnik nieustalonej wymiany ciepła, W/m^2K.

Wartość współczynnika "c" określano podobnie jak w pracy [2] z zależności:

$$c = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_c} = \frac{c_p(t_2 - t_1)}{c_p(t_2 - t_1) + c_{pp}(x_2 t_2 - x_1 t_1) + r_p(x_2 - x_1)} \tag{14}$$

gdzie:

Δh_s - przyrost entalpii właściwej powietrza suchego, J/kg,

Δh_c - przyrost entalpii właściwej powietrza wilgotnego, J/kg,

c_p - ciepło właściwe powietrza suchego, J/kg K,

c_{pp} - ciepło właściwe pary wodnej, J/kg K,

r_p - ciepło parowania wody, J/kg.

Ponieważ wartość współczynnika "c" zawiera się w granicach 0,2 (dla ścian) do 0,4 (dla szybów) [2], a wartość współczynnika k_τ dla ścian przyjmuje wartość około 6, a dla szybów około 0,1, można przyjąć bez popełnienia większego błędu, że w szybach, wyrobiskach kamiennych oraz węglowych $t_s = t$. Jedynie w ścianach występią różnice temperatury powietrza i temperatury powierzchni wyrobiska, co zostało uwzględnione w obliczeniach przy założeniu $k_\tau = \infty$.

Mając określone: A, $\dot{m}_s$, T, p, p_n, x_1, x_2, D, obliczono Sh_w wyrażającą sumę Sh_1 oraz Sh_2.

Wyniki pomiarów zamieszczono w pracy [2], a obliczone liczby bezwymiarowe Re, Gu, K, R, W, F_o, Sh_w w pracy [14]. W sumie pomiarami objęto 404 wyrobisk, po 100 w każdej grupie (szyby, wyrobiska kamienne, wyrobiska węglowe, ściany).

4. Opracowanie danych pomiarowych i analiza uzyskanych zależności

Po przygotowaniu danych wejściowych przystąpiono do ich matematycznego opracowania. Do obliczeń wykorzystano standardowy program L CL 1900 Statistical analysis XDS 2/29 oraz maszynę cyfrową.

Obliczenia wykonano w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonano:

1. Analizę danych wejściowych celem wyeliminowania pomiarów odbiegających.

2. Przeprowadzono analizę wartości testu Studenta dla wykładników i stałej w zależności:

$$Sh_w = c\ Re^a\ Gu^b\ Fo^d\ W^e\ R^f\ K^g \tag{15}$$

przy założeniu poziomu istotności 0,95. Liczby bezwymiarowe o niższym poziomie istotności wyeliminowano z dalszych obliczeń.

3. Przeprowadzono **analizę wartości** współczynników korelacji uzyskanych w czterech wariantach obliczeń:

a) w wariancie I wszystkie wyrobiska potraktowano łącznie
b) w wariancie II ze względu na wartość liczb K obliczenia wykonano w dwóch grupach wyrobisk: gdy $K > 0$ i $K < 0$,
c) w wariancie III wykonano dalszy podział wyrobisk na: szyby, wyrobiska kamienne, wyrobiska węglowe, ściany,
d) w wariancie IV uwzględniono zmienność wykładników potęgowych przy liczbach: Re i Gu, zakładając że: $a = a' \lg Re$, $b = b' \lg Re$.

W drugim etapie wykonano obliczenia stałych c_1, c_2 wchodzących do zależności (5) i (6). W tym celu zależność w postaci:

$$Sh_w = Sh_1 + Sh_2 \tag{16}$$

podzielono obustronnie przez Sh_1 uzyskując nową funkcję w postaci:

$$y = c_1 + c_2 x \tag{17}$$

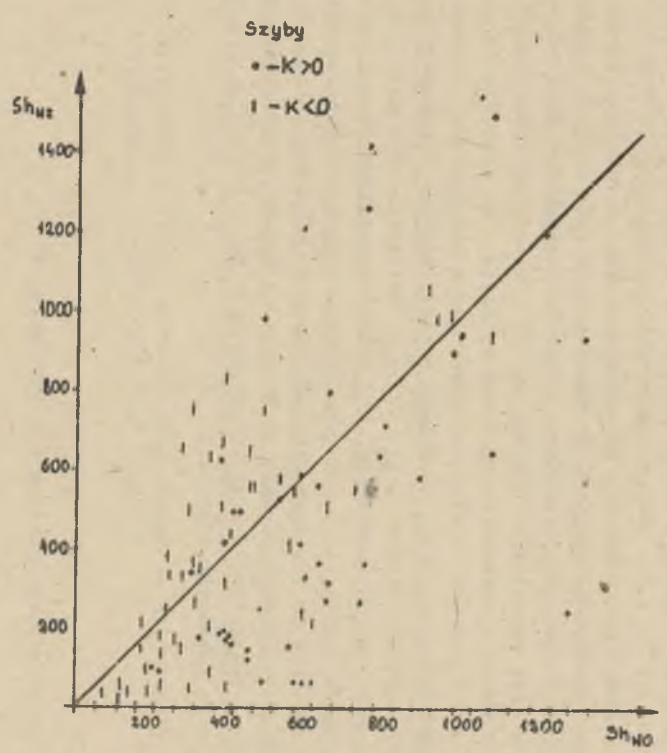
Funkcja powyższa stanowiła podstawę do obliczeń metodą najmniejszych kwadratów wartości c_1, c_2 oraz współczynnika korelacji.

Na rys. 2 i 3 przedstawiono zależności między wartościami zmierzonymi Sh_{wz} oraz obliczonymi Sh_{wo}. Z przedstawionych rysunków 2 i 3 wynika, że dla małych wartości Sh_{wz} uzyskano znacznie większe wartości Sh_{wo}. Różnice te wynoszą odpowiednio dla szybów 500 i dla ścian 1000. Analiza danych pomiarowych i wykonanych obliczeń wskazuje, że powstałe różnice dotyczą wyrobisk suchych, a więc wyrobisk, gdzie nie zachodzi parowanie powierzchniowe wody. W części środkowej przedstawionych wykresów zachodzi dość dobra zgodność między Sh_{wo} i Sh_{wz}. Natomiast dla dużych wartości Sh_{wz} uzyskano mniejsze wartości Sh_{wo}. Fakt ten należy tłumaczyć tym, że przyjęta powierzchnia wyrobiska jako iloczyn długości (s) i obwodu (B) nie obejmuje dodatkowych elementów, np. wyposażenia wyrobiska, gdzie także może zachodzić proces parowania wody. Celem uwzględnienia powstałych różnic wykonano dalsze obliczenia wg zależności $Sh_{wz} = f(Sh_{wo})$ i w efekcie uzyskano nową zależność w postaci

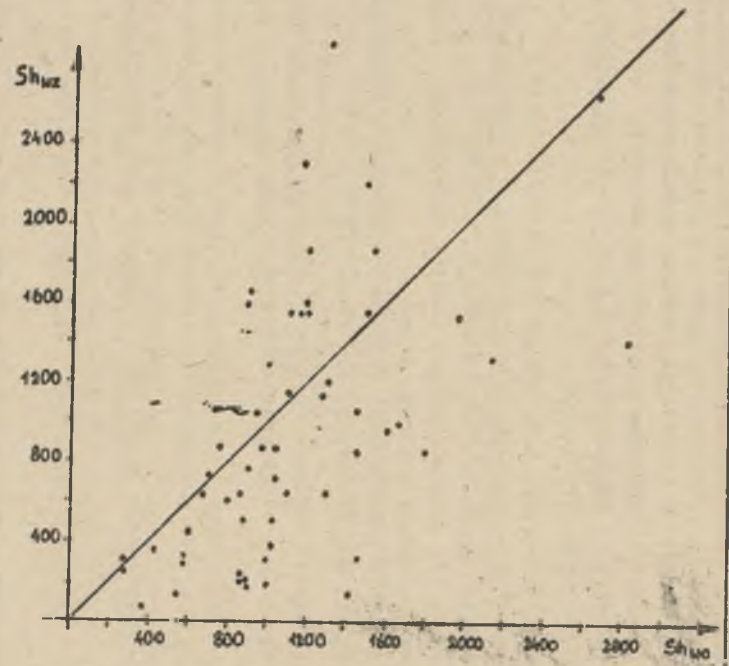
$$Sh_{wz} = c_3 + Sh_1 + Sh_2$$

gdzie:

c_3 - ujmuje nieuwzględnione elementy wyrobiska.



Rys. 2. Zależność między zmierzonymi wartościami Sh_{wz} i obliczonymi Sh_{wo} dla szybów



Rys. 3. Zależność między zmierzonymi wartościami Sh_{wz} i obliczonymi Sh_{wo} dla wyrobisk ścianowych

Ten sposób opisania liczby Sh_w spowodował także dalszy wzrost współczynnika korelacji. Ostatecznie uzyskano następujące wzory do obliczenia wypadkowej liczby Sherwooda:

w szybach:

$$Sh_w = 2{,}1\ 10^{-5}\ Re\ \ Gu^{-0{,}5} + 340, \quad gdy\ \ K > 0 \tag{18}$$

$$Sh_w = 1{,}7\ 10^{-5}\ Re\ \ Gu^{-0{,}5} + 930\ K^{0{,}6} - 270, \quad gdy\ \ K < 0 \tag{19}$$

w wyrobiskach kamiennych:

$$Sh_w = 1{,}37\ 10^{-4}\ Re^{0{,}9}\ \ Gu^{-0{,}5} + 570\ W^{-0{,}3}\ R^{-0{,}7}\ K^{0{,}6} - 150, \quad gdy\ \ K < 0 \tag{20}$$

w wyrobiskach węglowych:

$$Sh_w = 3\ 10^{-4}\ Re^{0{,}9}\ Gu^{-0{,}5} + 1200\ W^{-0{,}3}\ R^{-0{,}7}\ K^{0{,}6} + 600, \quad gdy\ \ K < 0 \tag{21}$$

w ścianach:

$$Sh_w = 8\ 10^{-4}\ Re^{0{,}9}\ Gu^{-0{,}5} + 110\ W^{-0{,}3}\ R^{-0{,}7}\ K^{0{,}6} + 600, \quad gdy\ \ K < 0 \tag{22}$$

Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia, celem uzyskania większej dokładności obliczeń należałoby w zależnościach (18-22) uwzględniać procentowy udział powierzchni pokrytej wodą.

W wyrobiskach suchych, gdzie nie zachodzi powierzchniowe parowanie wody, należy wtedy przyjmować $Gu = 0$.

Nawilżenie powietrza odbywałoby się w wyniku parowania i desorbcji pary wewnątrz górotworu. W wyrobiskach, w których stwierdza się, że cała powierzchnia jest wilgotna, należałoby uwzględnić to np. przez dwukrotne zwiększenie liczby $Gu^{-0{,}5}$.

Z zależności (18-22) można określić procentowy udział wilgoci pochodzącej z górotworu w ogólnym bilansie wilgoci nawilżającej powietrze. W tym celu określono średnie arytmetyczne wartości poszczególnych liczb bezwymiarowych (wiersze 9-13), które zestawiono w tablicy 1. W tablicy 1 zestawiono także przedziały liczb bezwymiarowych, w których obowiązują wyprowadzone zależności (wiersze 1-5). W wierszu 6 podano ilość pomiarów (n), w wierszu 7 liczbę stopni swobody, a w wierszu 8 ogólny współczynnik korelacji.

Wykonane obliczenia wykazały, że średni procentowy udział pary wodnej pochodzącej z procesu parowania i desorbcji pary wewnątrz górotworu odpowiednio wynosi: w szybach 9%, w wyrobiskach kamiennych 43%, w wyrobiskach węglowych 44% i w ścianach 12%. Porównanie natomiast bezwzględnych warto-

ści liczb Sh_z wskazuje, że największą wartość uzyskuje ona w wyrobiskach węglowych.

W wyrobiskach kamiennych wartość jej zmniejsza się, stanowiąc już 70% wartości Sh_z uzyskanej w wyrobiskach węglowych, by w szybach spaść do 8%. Oczywiście w przedstawionej analizie pominięto wilgoć pochodzącą z procesów filtracyjnych, gdyż jej ujęcie wymagałoby zbudowania jeszcze bardziej złożonego modelu ruchu wilgoci w górotworze.

5. Wnioski końcowe

Przedstawione wyniki badań ruchu wilgoci w wyrobiskach górniczych pozwalają wysnuć następujące wnioski:

a) Przy prognozowaniu wilgotności powietrza kopalnianego można posługiwać się zależnością (8).

b) Ponieważ dotychczasowy sposób określania współczynnika przejmowania wilgoci w pełni nie opisywał procesu ruchu wilgoci w wyrobisku górniczym, dlatego proponuje się do obliczeń używać zależności (18-22).

c) Przeprowadzona analiza uzyskanych zależności (18-22) wskazuje, że największe zawilżenie powietrza następuje w ścianach a najmniejsze w szybach. Para wodna pochodząca z parowania wody i desorbcji pary wewnątrz górotworu stanowi 8-44% całości pary nawilżającej powietrze.

d) Decydujący wpływ na wynik prognozy wilgotności powietrza w wyrobisku górniczym ma dokładność określenia powierzchni pokrytej wodą.
Przy korzystaniu z zależności (18-20) należy:
- w wyrobiskach kompletnie suchych przyjąć $Gu = 0$,
- w wyrobiskach kompletnie zawilżonych (dopływ wody w wyniku filtracji) należy przyjąć $Gu^{-0,5} \cdot 2$,
- w wyrobiskach średnio zawilżonych podane zależności dają dobre wyniki.

e) Ogólnie stosowany model zakładający liniowy przyrost wilgotności powietrza w wyrobiskach górniczych jest poprawny, gdyż daje zbliżone wyniki do modelu nieliniowego.

Ze względu na prostszą formę i możliwość wykonywania obliczeń bez użycia specjalnych tablic czy maszyn cyfrowych podano jedynie zależności zakładające liniowy przyrost wilgotności w wyrobisku. W modelu nieliniowym występują bardzo niewielkie wielkości wykładników potęgi, utrudniające obliczenia, a mające wpływ na wynik końcowy.

Zestawienie wartości przedziału liczb bezwymiarowych, dla których opracowano zależności (18-22)

Lp.	Wyszczególnienie	Szyby	Wyr. W. Kam.	Wyr. węgl.	Ścian
1	$Re \cdot 10^5$	5 - 40	2,5 - 25	1,1 - 11	1,5 - 7
2	$Gu \cdot 10^{-3}$	2 - 14	2 - 12	1 - 11	2 - 8
3	$K \cdot 10^{-3}$	1 - 36	2 - 60	1 - 45	2 - 30
4	$R \cdot 10^{-1}$	-	19 - 4,4	17 - 18	9,3 - 21
5	W	-	1,4 - 2,1	1,4 - 2,8	1,4 - 3,1
6	n	109	95	95	107
7	s	80	78	66	71
8	r	0,68	0,62	0,60	0,65
9	$Re \cdot 10^5$	18	10	3,4	2,9
10	$Gu_{Sr} \cdot 10^3$	6,5	5,7	4,3	5,7
11	$K_{sr} \cdot 10^{-3}$	14,5	27,3	22,6	17
12	$R_{śr}$	-	0,35	1,3	1,44
13	$W_{sr}\ 10^{-2}$	-	1,9	2,0	1,71

LITERATURA

[1] Chmura K.: Własności fizykotermiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wyd. "Śląsk", Katowice 1971.

[2] Frączek R.: Proces nawilżania powietrza w wyrobiskach górniczych świetle rozważań teoretycznych i obserwacji w kopalniach. ZN Po Śląskiej, s. Górnictwo z. 98, Gliwice 1979.

[3] Frączek R.: Wpływ głębokości zalecania pokładów węgla na ich zawilgocenie. Przegląd Górniczy nr 9 1976.

[4] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. PWT, Warszawa 1967.

[5] Holek S.: Metoda prognozowania zwilżenia, strumienia entalpii, wilgotności względnej i temperatury powietrza świeżego w wilgotnych wyrobiskach górniczych (niepublikowane). Politechnika Wrocławska 1976.

[6] Kriworuczko A.M.: Opriedielenije intiensiwnosti włagootdaczi poroc w wyrabotkach głubokich szacht. Gornyj żurhał. Izw. Wys. U. Zaw. nr 1 1965.

[7] Łykow A.W.: Tiepło - i massoobmien w processach suszki. Gosenergoizdat. Moskwa-Leningrad 1956.

[8] Praca zbiorowa: Poradnik Górnika T. III Wydawn. Śląsk, Katowice 1972.

[9] Roszczynialski W., Wacławik J.: Podstawy aerologii górniczej. Skrypt Uczelniany AGH, Kraków 1977.

[10] Smirnow N.W., Dumin-Barkowski J.W.: Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWT, Warszawa 1966.

[11] Szczerbań A.N. i inni: Rukowodstwo po rieguliroweniju tiopłowogo rieżima szacht. "Niedra", Moskwa 1977.

[12] Voss J.: Ein neues verfahren zur klimarorausberechnung in Steinkohlen bergwerken Gluckauf - Forsch H.G. 1969.

[13] Woropajew A.F.: Tieorija tiepłoobmiena rudnicznogo wozducha i gornych porod w głubokich szachtach. Izdatielstwo "Niedra", Moskwa 1966.

[14] Frycz A. i inni: Dobór efektywnych oraz ekonomicznych metod i środków przewietrzania wyrobisk na dużych głębokościach. Prace Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż. Politechniki Śląskiej Gliwice 1975-1979 (niepublikowane).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Wacławik

Wpłynęło do Redakcji 24.03.1981 r.

Процесс увлажнения воздуха в горных выработках
на основании теоретических рассуждений и наблюдений на шахтах

Р е з ю м е

В работе приводятся результаты дальнейших исследовании процесса увлажнеиия воздуха в горных выработках, которые представлены в работе [2]. Применяемая до сих пор модель движения влаги в горных выработках расширена влиянием эксплуационного давления с учетом линейного и нелинейного прироста влаги вдоль оси выработки. Приведено тоже количественное участие водяннсго пара происходящего из источников вне и внутри (из горного массива) выработки. В заключении указываются основные выводы.

The Process of Humidification of Air in the Mining Excavation
in the Light of Theoretical Considerations and Observations
in Mines

S u m m a r y

In this work further results of investigations en the process of humidification of air in the mining excavations which were presented in the work [2], are considered. The past model of movement of moisture in the mining excavations was extended with the exploitation pressure under the assumption of linear and unlinear increment of moisture along the exploitation axle. The quantitative participation of water steam arising from the sources in - side and outside (from the rock mass) of the exploitation are also given. In the end the most important conclusions are presented.